

---

## Fungos micorrízicos arbusculares (FMA): alternativa agroecológica para recuperação biológica dos solos degradados

Lucas Henrique Cortat, Danillo Sartório Rangel, José Carlos Lambert, João Paulo Andrade Gomes, Maria Amélia Bonfante da Silva, João Sávio Monção Figueiredo, Otávio Pereira Araujo, Maurício Novaes Souza

<http://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-04-6.c5>

### Resumo

A estrutura do solo tem grande influência na sustentabilidade do ecossistema e no crescimento das plantas: a maioria das espécies se encontra associada a determinados fungos de solo numa simbiose mutualística. Fungos micorrízicos arbusculares (FMA) são um importante grupo funcional da microbiota do solo, amplamente distribuídos em agroecossistemas tropicais e extremamente importantes para o desenvolvimento de culturas agrícolas, principalmente quando cultivadas em solos pobres. Com a intensa atividade agrícola em sistema convencional de cultivo, em que o solo é periodicamente revolvido para plantio, além da entrada de agroquímicos, tem-se uma queda natural da capacidade de colonização do micobionte na rizosfera. Conseqüentemente, também há queda na produção das culturas. A inoculação de FMA é uma alternativa agroecológica para recuperação biológica dos solos degradados, desde que acompanhada de manejo que contribua para sua nova colonização e resulte na melhoria do estado nutricional e na utilização dos nutrientes pelas plantas hospedeiras, diminuição do estresse biótico e abiótico. Este capítulo enfoca os FMA, sua associação simbiótica com as raízes das plantas, denominada de micorrizas arbusculares (MA), e sua importância como estratégia disponível para a agricultura ecológica, econômica e social.

**Palavras-chave:** *Glomeromycota*. Micorriza. Microbiota. Agroecologia. Simbiose

### 1. Introdução

Quando as plantas surgiram na superfície terrestre há quase 500 milhões de anos, o solo já era habitado por fungos (REDECKER; KODNER; GRAHAM, 2000). Deste encontro surgiu uma associação simbiótica entre os dois organismos: as micorrizas, que significa literalmente “fungo de raiz” - expressão introduzida em 1885 pelo botânico alemão Albert Bernard Frank, e as raízes das

plantas (MARTIN; SCHWAB, 2013).

Descrita como a coexistência de fungos com as raízes das plantas vasculares, acredita-se que essa simbiose tenha contribuído para a ocupação do ambiente terrestre pelas plantas vasculares (LANFRANCO; BONFANTE; GENRE, 2016). Caracterizada por trocas recíprocas, essa interação é mutuamente benéfica, em que o fungo fornece nutrientes minerais do solo para a planta por intermédio de suas hifas e, em troca, recebe compostos com carbono (C), fixado via processos fotossintéticos pelo simbiote autotrófico (SMITH; READ, 2008).

As micorrizas arbusculares (MA) são as mais comuns micorrizas da natureza, sendo encontradas na maioria dos ecossistemas terrestres, desde os polares até os tropicais úmidos ou desérticos (SAGGIN JÚNIOR; DA SILVA, 2006). Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) pertencem ao filo Glomeromycota<sup>10</sup> e as micorrizas arbusculares (MA) são formadas por aproximadamente 80% de espécies de plantas vasculares em todos os principais biomas terrestres (SMITH et al., 2010). Os FMA podem ser considerados um bioinsumo<sup>11</sup>.

No Brasil ainda não é consenso a denominação de um único termo para se referir aos bioinsumos, adotando-se como sinônimos os termos produto biológico, bioproduto, produto de base biológica ou ainda quando se faz menção direta a um produto específico como bioinseticidas, biofertilizantes, inoculantes, entre outros. Desta forma, considerando aspectos econômicos e científicos, o governo brasileiro vem normatizando os bioinsumos (VIDAL; SALDANHA; VERISSIMO, 2020).

No entanto, somente em 2020 o Governo Federal publicou um decreto que trata única e exclusivamente dos bioinsumos. Trata-se do Decreto N° 10.375, de 26 de maio de 2020, instituiu o Programa Nacional de Bioinsumos e o Conselho Estratégico do Programa Nacional de Bioinsumos, sob

---

<sup>10</sup> É um filo do reino Fungi. Todos os representantes dessa divisão se reproduzem assexuadamente formando Glomerosporos como estruturas reprodutivas. Caracterizam-se por formar associação com raízes da maioria das famílias de plantas.

<sup>11</sup> Um insumo, para ser reconhecido como bioinsumo, precisa demonstrar modificações na fisiologia das plantas, tornando-as mais eficientes no uso de recursos do ambiente como água e nutrientes, ou na proteção contra agentes nocivos.

responsabilidade do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento-MAPA (BRASIL, 2020).

A finalidade do decreto é ampliar e fortalecer a utilização de bioinsumos no país para beneficiar o setor agropecuário, estabelecendo normas e diretrizes.

O Art. 2º define bioinsumo como:

“O produto, o processo ou a tecnologia de origem vegetal, animal ou microbiana, destinado ao uso na produção, no armazenamento e no beneficiamento de produtos agropecuários, nos sistemas de produção aquáticos ou de florestas plantadas, que interfiram positivamente no crescimento, no desenvolvimento e no mecanismo de resposta de animais, de plantas, de microrganismos e de substâncias derivadas e que interajam com os produtos e os processos físico-químicos e biológicos” (BRASIL, 2020).

Os FMA ocupam um nicho ecológico vital para o equilíbrio ambiental em terras nativas ou cultivadas, desempenhando um papel significativo nos ecossistemas vegetais controlando a aptidão e a competitividade dos indivíduos vegetais em suas comunidades micorrízicas (BÜCKING; MENSAH; FELLBAUM, 2016). As MA são um componente chave da microbiota do solo (GAI et al., 2015), desenvolvendo uma relação simbiótica com as raízes da maioria das espécies de plantas que podem melhorar significativamente a resistência das mesmas aos diversos estresses bióticos e abióticos (LATEF et al., 2016).

A sustentabilidade da produção agrícola está ligada aos efeitos benéficos dos FMA, principalmente com relação à absorção de fósforo (P), minimizando o uso deste fertilizante, um elemento não renovável e finito (BERBARA; SOUZA; FONSECA, 2006). A baixa disponibilidade de fosfato é um fator que restringe o crescimento e o metabolismo das plantas em muitos solos em todo o mundo, devido sua baixa solubilidade e mobilidade; portanto, o manejo apropriado para aumentar a eficiência do uso de P e minimizar os danos ao meio ambiente é de importância estratégica para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável (GAI et al., 2015).

Os solos brasileiros possuem baixos teores de P, além de alta capacidade de fixação deste nutriente. Desse modo, uma alternativa que vem sendo estudada com êxito em algumas culturas para melhoria da nutrição fosfatada é o manejo de populações de fungos micorrízicos arbusculares (CRUZ et al., 2017). Os FMA têm amplo espectro de hospedeiros, entre eles o café, soja, milho, batata-doce, mandioca, cana-de-açúcar, além de várias essências florestais e frutíferas brasileiras (BERBARA; SOUZA; FONSECA, 2006).

O presente trabalho é uma revisão de literatura sobre os fungos micorrízicos arbusculares, abordando as características gerais e a importância para uma agricultura sustentável.

## **2. Fungos micorrízicos arbusculares**

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) são microrganismos chave que compõe grande parte da biomassa microbiana dos solos cultivados. Cerca de 80% das plantas se associam simbioticamente com estes fungos que são notadamente importantes agentes de melhoria da qualidade do solo e do desempenho de culturas.

### **2.1. Associação simbiótica**

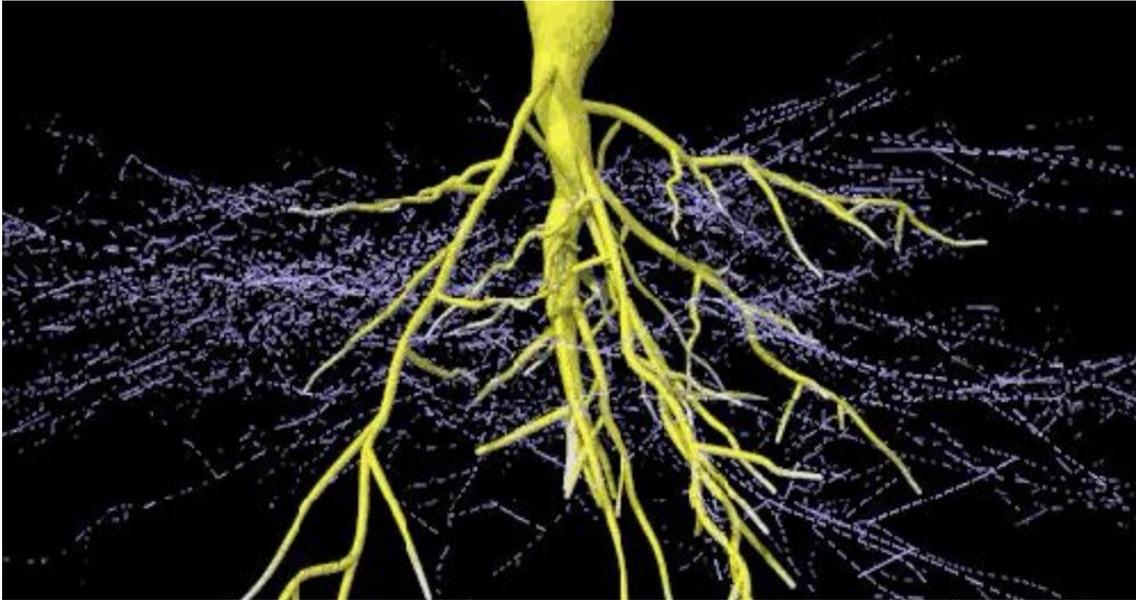
A simbiose é definida como uma relação onde ocorrem alterações morfológicas em benefício dos organismos envolvidos, isto é, do fotobionte (planta) e do micobionte (fungo). A associação entre o fungo micorrízico e as raízes das plantas é simbiótica, pois os organismos coexistem em um mesmo ambiente físico: raiz e solo, e mutualística nutricional, porque, em geral, ambos os simbioses se beneficiam da associação (BERBARA; SOUZA; FONSECA, 2006).

A capacidade de criar uma “ponte” entre o solo e a planta, é a função mais importante dos fungos micorrízicos, pois, melhoram a capacidade das raízes das plantas de penetrarem no solo aumentando o fluxo de água e nutrientes do solo para a planta e em compensação recebem carboidratos oriundos do processo fotossintético da planta (MERGULHÃO et al., 2014).

As etapas críticas em uma simbiose são o reconhecimento mútuo e o estabelecimento de uma associação íntima, que envolve a penetração de tecidos

vegetais e, em muitos casos, a invasão de células hospedeiras individuais pelo simbionte microbiano (REINHARDT, 2007).

A simbiose é possível graças ao fato de o fungo produzir hifas intra e extra radiculares capazes de absorver elementos minerais do solo e transferi-los ao ambiente radicular, onde são absorvidos (BERBARA; SOUZA; FONSECA, 2006) (Figura 1).

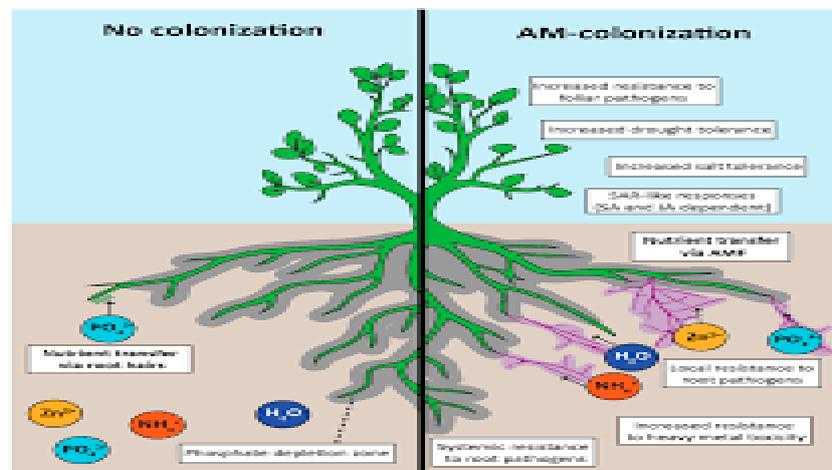


**Figura 1.** Hifas funcionando como extensão das raízes das plantas. Fonte: <https://institutoagro.com.br/micorrizas> (2022).

As hifas funcionam como extensão das raízes das plantas, devido sua grande capacidade de ramificação explorando o solo, realizando absorção de água e nutrientes minerais que são transferidos para as plantas através estruturas intracelulares, denominadas arbúsculos (HOFFMANN; LUCENA, 2006).

A associação MA se inicia quando um esporo ou uma hifa de fungo do solo responde à presença de um estímulo liberado pela raiz, crescendo em direção à luz, estabelecendo contato e crescendo ao longo de sua superfície (VALADARES; MESCOLOTTI; CARDOSO, 2016) (Figura 2). Logo, a rizosfera pode ser definida como uma área de íntimo contato entre microrganismos e raízes de plantas, região onde existe a liberação de diferentes exsudados

orgânicos que estimulam o crescimento de comunidades microbianas presentes no solo (ROMAGNOLI; ANDREOTE, 2016).



**Figura 2.** Planta colonizada e não colonizada. Fonte: [www.wikiwand.com/pt/Micorriza\\_arbuscular](http://www.wikiwand.com/pt/Micorriza_arbuscular) (2021).

Após a fixação física do simbionte fúngico à superfície da raiz, ocorre a germinação do esporo e a planta prepara as células epidérmicas para a penetração do fungo, ajudando ativamente a colonização de suas raízes pelo simbionte, em vez de apenas tolerá-los (REINHARDT, 2007). O estabelecimento e persistência de FMA no campo é representada pela germinação de esporos, que é afetada por diferentes fatores relacionados ao solo, como pH, conteúdo de nutrientes, temperatura, bactérias e pesticidas (GIOVANNINI et al., 2020).

Percebe-se que os FMA não possuem especificidades quanto a hospedeiros: cada espécie vegetal pode possuir interações diferentes, quando associada a diversos FMA, ainda que, submetidos às mesmas condições ambientais (MIRANDA, 2017); ou seja, uma espécie vegetal pode formar associação micorrízica com as mais diversas espécies de solo-planta (CAVALCANTE; GOTO; MAIA, 2009).

## 2.2. Absorção e mobilização

Fungos micorrízicos arbusculares constituem parte significativa da biomassa microbiana do solo e estão envolvidos diretamente em processos essenciais da interface solo-planta (RODRIGUES; BARROSO; FIQUEIREDO,

2018). Formam associações simbióticas com várias espécies arbóreas, sendo o principal efeito da associação o aumento no crescimento da planta, pelo aumento da absorção de nutrientes, especialmente os menos móveis, tais como o P, Cu, Mg e Zn (BERBARA; SOUZA; FONSECA, 2006).

Em solos muito intemperizados e oxidicos, predominantes em ecossistemas tropicais, as associações micorrízicas são cruciais para o aumento da absorção de fósforo (P), principalmente devido à baixa mobilidade deste elemento e seu caráter limitante para a produção agrícola (VALADARES; MESCOLOTTI; CARDOSO, 2016).

Segundo Barros et al. (1995), a espécie vegetal eficiente na utilização de nutrientes é aquela capaz de sintetizar o máximo de biomassa e superfície de aquisição de recursos por unidade de nutriente absorvido. Dentre os vários mecanismos e processos na planta que contribuem para o uso eficiente de nutrientes, a interação dos fungos micorrízicos com as espécies vegetais, proporciona vários benefícios, além de aumentar a capacidade de sobrevivência das plantas por meio da expansão do sistema radicular no solo (BRAHMAPRAKASH; SAHU, 2012).

Rodrigues; Barroso; Figueiredo (2018) avaliaram o efeito da inoculação de fungos micorrízicos sobre o crescimento e nutrição mineral de mudas de *Tectona grandis* em solo não esterilizado. Os tratamentos microbiológicos foram: 1) Testemunha (sem inoculação); 2) Inóculo de *Rhizophagus clarus*; 3) Inóculo obtido de plantio de teca do Mato Grosso (inóculo MT); e 4) Inóculo nativo de Campos dos Goytacazes (inóculo de Campos).

O experimento foi realizado na casa de vegetação da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, Campos dos Goytacazes – RJ. A inoculação da micorriza na teca foi realizada mediante a adição do inóculo sobre o substrato de cultivo (a 5% do volume) na ocasião do transplante das plântulas para vasos de 6 dm<sup>3</sup>.

Aos 135 dias após o plantio (DAP), as plantas foram avaliadas quanto à altura, diâmetro do colo e biomassa seca do caule, folhas e raízes. A mostra de raízes foi também analisada quanto a colonização micorrízica.

Os incrementos no percentual de colonização micorrízica sobre a testemunha (colonização natural = 45%), foram de 113%, 93% e 93% com a inoculação de *Rhizophagus clarus*, inóculo MT e inóculo de Campos,

respectivamente, indicando que a inoculação de FMA nas plantas em estudo, foi efetiva.

Comparativamente aos valores observados na testemunha, a inoculação de FMA nativo de Campos proporcionou incrementos significativos de 68%, 109% e 25%, respectivamente, na biomassa do caule, biomassa das raízes e diâmetro do colo das mudas. Na biomassa foliar e na altura das plantas, o maior incremento foi observado com a inoculação do isolado de *Rhizophagus clarus*, sendo 80% e 45%, respectivamente.

A inoculação com os FMA proporcionou aumentos significativos na eficiência de utilização de nutrientes nas folhas e nas raízes da teca. Nas folhas, a inoculação com o *Rhizophagus clarus* aumentou a eficiência de utilização de P, S e K em 268%, 84% e 74%, respectivamente. O FMA de Campos aumentou em 80% a eficiência de utilização de K nas folhas.

Nas raízes, a inoculação com FMA de Campos proporcionou incremento de 90%, 102% e 108% na eficiência de utilização de K, S e P, respectivamente. A inoculação com *Rhizophagus clarus* aumentou P e K em 99% e 95% nas raízes, respectivamente.

Por fim, a inoculação de FMA proporcionou maior eficiência na utilização de nutrientes, principalmente de P. FMA beneficiam melhor as espécies quando esses se encontram em substratos com baixos teores de P (SAGGIN JR.; SIQUEIRA; SIQUEIRA, 1996).

### **2.3. Evolução**

As micorrizas surgiram há cerca de 400 milhões de anos, período em que coincide com o aparecimento das plantas terrestres, compreendido entre 462 e 352 milhões de anos, segundo estudos realizados em raízes fossilizadas (MOREIRA, 2006).

As micorrizas representam uma variedade de associações. Nos estudos de Frank em 1885 essas associações podem ser agrupadas de acordo com sua morfoanatomia em: ectotróficas e endotróficas, termos não mais utilizados. Atualmente, os grupos ou tipos podem variar de acordo com o autor, mas a tendência é a categorização em sete tipos distintos, listados e caracterizados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Principais características diferenciais dos tipos de micorrizas.

Característica	Arbuscular	Ecto <sup>1</sup>	Ectendo <sup>2</sup>	Arbutóide	Monotropóide	Ericóide	Orquídoide
1. Fungo							
Septado	-	+	+	+	+	+	+
Asseptado	+	-	-	-	-	-	-
2. Colonização							
Intracelular	+	-	+	+	+	+	+
Hifas enroladas	+/-	-	+	+	-	+	+
Rede de Hartig	-	+	+	+	+	-	-
Vesículas	+/-	-	-	-	-	-	-
Arbúsculos	+	-	-	-	-	-	-
3. Manto fúngico	-	+	+/-	+/-	+	-	-
4. Plantas com clorofila	+	+	+	+/-	-	+	+/-
5. Alteração da raiz	-	+	+	+	+	-	-
6. Especificidade	-	+/-	+	+	+	+	+
7. Predominância	Cosmopolita	Temperado	Temperado	Temperado	Temperado	Heathland	Temp <sup>3</sup> /Trop <sup>4</sup>
8. Classificação do fungo	Zígo <sup>5</sup>	Basi <sup>6</sup> /Asco <sup>7</sup>	Basi/Asco	Basi	Basi	Asco	Basi
9. Classificação da planta	Gim <sup>8</sup> /Arg <sup>9</sup>	Gim/Ang	Gim/Ang	Ericales	Monotropa	Ericales	Orquidaceae

<sup>1</sup>Ectomicorriza; <sup>2</sup>Ectendomicorriza; <sup>3</sup>Temperado; <sup>4</sup>Tropical; <sup>5</sup>Zigomiceto (atualmente proposto a divisão Glomeromycota); <sup>6</sup>Basidiomiceto; <sup>7</sup>Ascomiceto; <sup>8</sup>Gimnosperma; <sup>9</sup>Angiosperma.

Fonte: Adaptado de Moreira (2006).

As micorrizas mais comuns são as endomicorrizas e se dividem em 3 tipos distintos, sendo que os tipos ericóide e orquídoide ocorrem apenas nas famílias

*Ericaceae* e *Orquidaceae*, respectivamente; e o terceiro tipo, as micorrizas arbusculares (SILVEIRA, 1992), formadas por fungos que desenvolvem uma estrutura intensamente ramificada – os arbúsculos, formados a partir de hifas que penetram as células da raiz vegetal acumulando glicogênio e lipídios (BACK; ALTMANN; DE SOUZA, 2016).

Análises morfológicas e moleculares resultaram em avanços importantes na organização taxonômica do filo *Glomeromycota*, os quais são conhecidos por micorriza arbuscular (OEHL et al., 2011). Os fungos micorrízicos arbusculares continuam com status de filo: *Glomeromycota*, com 3 classes: *Glomeromycetes*, *Archaeosporomycetes* e *Paraglomeromycetes*, 5 ordens: *Glomerales*, *Diversisporales*, *Archaeosporales*, *Paraglomerales* e *Gigasporales*, 16 famílias, 44 gêneros e 317 espécies oficialmente descritas (GOTO; JOBIM, 2021).

Os FMA são assexuados e o modo de formação dos esporos distingue as famílias e os gêneros. Técnicas moleculares como o PCR-RL tem possibilitado revelar diversidade genética considerável e inesperada, considerando que os FMA se reproduzem assexuadamente. O desenvolvimento dos esporos ocorre por embriogênese somática e o micélio vegetativo não é geneticamente homogêneo, pois é multinucleado. Os esporos assexuais produzidos podem ser contados e servem de base para análise quantitativa das populações (MOREIRA, 2006).

A endossimbiose formada entre o fungo *Geosiphon pyriformis* e cianobactérias tem sido apontada como uma das possíveis origens da simbiose micorrízica, principalmente porque este fungo apresenta morfologia, estrutura e função próximas às dos fungos MAs, inclusive quanto ao fornecimento de P e ao papel regulador deste elemento sobre a simbiose. (SCHÜßLER; SCHWARZOTT; WALKER, 2001), confirma a relação evolutiva entre esses simbiontes.

#### **2.4. Caracterização morfológica**

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) são organismos biotróficos obrigatórios, que se associam com raízes de plantas vasculares, formando uma relação simbiótica mutualista (SOUZA et al., 2010).

Quase todas as plantas utilizam de alguma associação mutualística com fungos. Sem auxílio, os pelos radiculares dessas plantas, não são capazes de

absorver água ou nutrientes necessários para manter o crescimento. Muitos são os gêneros de fungos capazes de formar associação com plantas; entretanto, existem diferentes graus de especificidade fungo-planta existindo uma compatibilidade diferenciada entre as espécies de fungos micorrízicos do solo e as variações nas características genéticas do hospedeiro determinando, dessa forma, a dependência micorrízica (CANTON, 2012).

Uma micorriza arbuscular é composta basicamente por 3 componentes: raízes, estruturas fúngicas (arbusculos, esporos e vesículas) e micélio extra radicular (VALADARES; MESCOLOTTI; CARDOSO, 2016). O diâmetro das hifas dos fungos é muito menor comparado ao das raízes vegetais, que varia entre 2–20  $\mu\text{m}$ , possuindo uma ou duas ordens de grandeza mais estreitas que as raízes (SMITH et al., 2010).

Portanto, as hifas proporcionam às plantas com micorrizas arbusculares o acesso a poros do solo de reduzido diâmetro, inacessíveis às raízes, aumentando o fornecimento de água e outros nutrientes que ficam retidos quando o solo seca ou fica mais compacto (SAMPAIO, 2012).

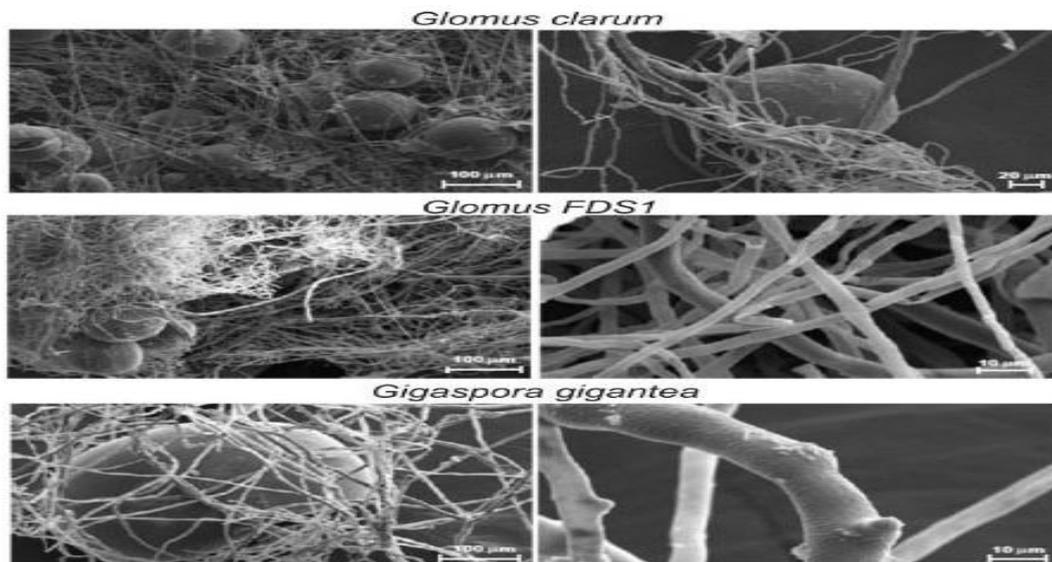
Entretanto, essas raízes são infectadas por fungos, formando uma associação chamada micorriza. As micorrizas podem ser ectomicorrizas, em que o fungo se enrola à raiz, mas não penetram; endomicorrizas ou micorrizas arbusculares, nas quais as hifas do fungo entram na raiz e penetram a parede celular das células radiculares formando estruturas arbusculares, dentro da parede celular, mas fora da membrana plasmática (SADAVA et al., 2009).

As associações ectomicorrízicas possuem elevada especificidade com o hospedeiro, sendo um mecanismo governado por uma interação genética entre o fungo e a planta hospedeira (BERTOLAZI et al., 2010) (Figura 3).

Os fungos micorrízicos arbusculares se associam mutualisticamente com o sistema radicular de plantas superiores (BARBOSA, 2013). Muitos são os gêneros de fungos capazes de formar associação com plantas. Entretanto, existem diferentes graus de especificidade fungo-planta existindo uma compatibilidade diferenciada entre as espécies de fungos micorrízicos do solo e as variações nas características genéticas do hospedeiro determinando, dessa forma, a dependência micorrízica (CANTON, 2012).

A formação de ectomicorrizas no campo depende de vários fatores ambientais, tais como: disponibilidade de nutrientes, pH do solo, temperatura,

disponibilidade de água, aeração, intensidade luminosa, fisiologia da planta hospedeira, interações com os microrganismos do solo e a toxicidade de certos agrotóxicos (HOFFMANN; LUCENA, 2006).



**Figura 3.** Micrografia de varredura de micélio dos isolados de *glomus clarum*, *glomus FDS 1* e *Gigaspora gigantea*. Fonte: Bertolazi et al. (2010).

## 2.5. Micorrizas e a dinâmica do carbono

O ciclo do carbono (C) de compostos orgânicos do solo é um componente fundamental de ecossistemas terrestres, sendo um dos elementos reguladores dos fluxos de gases entre a biosfera e a atmosfera. Os principais elementos definidores da magnitude e rapidez desse ciclo são a relação entre a produtividade primária e a distribuição do C entre a parte aérea e as raízes, assim como os processos de mineralização e imobilização (BRADY, 1989).

A maioria dos organismos do solo utiliza os compostos orgânicos da matéria orgânica do solo (MOS) como fonte de energia e nutrientes para a realização dos processos de transformação do C, o que inclui a mineralização, imobilização e formação de substâncias húmicas (MOREIRA, 2006). O C associado à biomassa microbiana representa um dos compartimentos da MOS com menor tempo de ciclagem: 2,5 anos em condições de clima temperado e 0,25 anos em condições de clima tropical úmido (FOLLI-PEREIRA et al., 2012), com tendência de a biomassa microbiana ser maior em camadas mais

superficiais pela maior disponibilidade de matéria orgânica, água e outros nutrientes.

Neste contexto, os compartimentos da MOS incluindo teores de C, índices de biomassa microbiana e atividade enzimática no solo têm sido utilizados como indicadores da qualidade do solo (BRANDINI; SANTOS, 2016).

A microbiota dos solos é pobre em carbono, ou seja, faltam compostos orgânicos energéticos para sua nutrição. Porém, as plantas secretam até 40% de seus fotossintatos na rizosfera, elevando a densidade da população microbiana na rizosfera em relação ao solo, fenômeno este conhecido como “efeito rizosférico” (ROMAGNOLI; ANDREOTE, 2016).

Estima-se que FMA possam ser responsáveis pelo dreno anual aos solos de cinco bilhões de toneladas (5 Gt) de C. Entretanto, sua quantidade no solo é bastante variável e influenciada por fatores como planta hospedeira, sazonalidade e tipo de solo (BAGO et al., 2000).

## **2.6. Glomalinas**

Dentre os grupos microbianos que estão relacionados com os processos de agregação de proteínas do solo, constam os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) (NOBRE et al., 2015). Os FMA estão envolvidos na formação e estabilização de agregados do solo (RILLIG et al., 2015), através do desenvolvimento de uma rede de hifas, criando um esqueleto estrutural que atua na junção e adesão das partículas do solo (VILELA et al., 2014). Sua importância se dá não apenas pelo efeito mecânico das hifas, mas também pela produção de uma glicoproteína de natureza hidrofóbica denominada glomalina (NOBRE et al., 2015).

A glomalina é um componente da parede das hifas dos FMA, que se acumula no solo após o processo de decomposição das hifas por microrganismos edáficos. Sua relevância se dá, principalmente, por sua associação ao carbono, contribuindo para o incremento de seu reservatório no solo (DRIVER et al., 2005).

Dentre as principais funções desta proteína, cuja natureza é a resistência ao calor, a insolubilidade e a hidrofobicidade, estão o auxílio na proteção das

hifas fúngicas à dessecação e na agregação das partículas minerais e orgânicas presentes no solo (BARTO et al., 2010).

Considerada uma proteína estável e abundante no solo (RILLIG et al., 2003), a glomalina encontra-se estreitamente correlacionada com a estabilidade de agregados com o carbono e o nitrogênio do solo (NICHOLS; WRIGHT, 2005), contendo cerca de 60% de carboidratos, possui nitrogênio ligado ao oligossacarídeo e ferro (PAIM, 2016).

O impacto antrópico pode prejudicar a produção de micélio externo da MA, responsável pela síntese da glomalina (MERGULHÃO, 2006; SILVA et al., 2012).

### **3. Fungos micorrízicos arbusculares na restauração ambiental**

Considerando a potencialidade que é conferida para as culturas, o requerimento crescente de fertilizantes fosfatados e nitrogenados para produções de mudas destinadas a renovação às diversas áreas produtivas, é exigente uma demanda por tecnologias alternativas que intensifique o uso de processos biológicos, com ganhos econômicos e ecológicos.

A produção agrícola e florestal e a restauração de áreas degradadas devem ser pautadas no aumento da qualidade do solo, na biodiversidade e na nutrição adequada das plantas. Entretanto, a manipulação da microbiota, devido a interações ecológicas com outros seres vivos e com o meio físico, é mais complexa que o simples uso de fertilizantes. Isso porque alterações nas características físico-químicas e biológicas formam uma cascata de correlações espaciais e temporais: ou seja, pequenas mudanças que podem causar grandes alterações na microbiota (PRATES JÚNIOR et al., 2021).

As áreas degradadas, geralmente, apresentam baixa fertilidade, limitações físicas e biológicas do solo, bem como a presença de substâncias tóxicas, que dificultam o processo de revegetação. A degradação do solo pode ser definida como perda, em longo prazo, das funções ecossistêmicas e da produtividade, causadas por distúrbios, que dificultam a recuperação por processos naturais (SOUZA, 2021).

Assim, é necessário realizar a revegetação, permitindo a reintegração dos ecossistemas, em termos estruturais e funcionais, por meio do aumento da

disponibilidade de carbono orgânico no solo (PRATES JÚNIOR et al., 2021). Diante das condições relativamente extremas de ambientes degradados, a simbiose micorrízica é essencial para atenuar os distúrbios e viabilizar o aumento da biodiversidade (PRATES JÚNIOR, 2018).

Existem poucos estudos abordando interações mutualísticas e efeitos dos metais nas trocas gasosas, considerando relatos de inibição da atividade fotossintética causada por metais em plantas sensíveis (HOSSAIN; HASANUZZAMAN; FUJITA, 2010; HOSSAIN et al., 2012). Metais contaminando o solo podem causar alterações fisiológicas nas plantas e nos organismos do solo, especialmente nas comunidades microbianas (HOSSAIN et al., 2012), interferindo nas funções do ecossistema, com consequências ao meio ambiente e à saúde pública (BERTOLAZI et al., 2010).

Em ambientes degradados por metais pesados, por exemplo, os FMA podem atenuar o estresse, absorvendo quantidades significativas desses metais em suas hifas. Em alguns casos, as plantas micorrizadas podem exibir aumento na absorção de metais pesados e no transporte destes da raiz para a parte aérea (fitoextração), enquanto em outros casos os FMA contribuem para imobilização dos metais pesados no solo (fitoestabilização) (WRIGHT et al., 2018).

A introdução de espécies vegetais tolerantes e resistentes é uma atividade para a recuperação do ambiente contaminado com metais, principalmente se acoplada ao potencial bioacumulador de metais por fungos ectomicorrízicos (NOGUEIRA; SOARES, 2010). Plantas com esse tipo de associação produzem maior quantidade de massa vegetal e absorvem e acumulam mais metais que plantas sem esses fungos (SILVA; SIQUEIRA; SOARES, 2006).

Estudos realizados acerca da degradação de ambientes têm destacado a importância e o potencial dos FMA como agentes recuperadores de áreas impactadas. A aplicação das MA na recuperação de solos impactados concentram-se no efeito da degradação, na população micorrízica e na reintrodução de propágulos selecionados e na busca de espécies nativas adaptadas às condições de degradação (COLODETE; DOBBS; RAMOS, 2014).

O estabelecimento, o desenvolvimento e a conservação dos ecossistemas naturais são dependentes da associação micorrízica que

proporciona aos vegetais simbiotes uma estratégia nutricional superior à de plantas não micorrizadas, conferindo maior sobrevivência em condições de estresse (MERGULHÃO et al., 2014). Esses mesmos autores destacam que o manejo da simbiose micorrízica como uma estratégia de maior qualidade nutricional e, portanto, aumento de produtividade, acarreta em redução de custos operacionais, constituindo-se em uma prática promissora para uma maior viabilidade e sustentabilidade de pastagens em solos tropicais, visto que tal associação oferece menores aportes de insumos nutricionais à produção.

O plantio de espécies nativas é uma estratégia de recuperação ambiental ativa, comum para aumentar a densidade de espécies, iniciando a formação de uma comunidade botânica inicial, na tentativa de acelerar o processo sucessional (WRIGHT et al., 2018). Entretanto, as áreas degradadas frequentemente apresentam baixo número de propágulos e diversidade de FMA. Assim, a inoculação de mudas de espécies nativas utilizadas nos programas de revegetação, a peletização de sementes para plantio e, ou, a inoculação direta no solo, para reintroduzir os FMA, são ferramentas biotecnológicas que podem aumentar o sucesso da restauração ambiental (COLODETE; DOBBS; RAMOS, 2014). Existem resultados positivos de inoculação de plantas em rejeito de mineração tanto com gramíneas nativas do Brasil quanto exóticas (WRIGHT et al., 2018).

A estratégia de recuperação ambiental adotada depende da paisagem em que a área está inserida, sendo necessário que cada caso seja criteriosamente avaliado por uma equipe multidisciplinar, capaz de perceber nuances da paisagem. Dentre as várias estratégias a nucleação ou formação de ilhas de diversidade, torna-se uma opção viável para iniciar o processo de aumento de propágulos na área, permitindo reduzir custos e restabelecer a comunidade de FMA, favorecendo o processo de sucessão (ROCHA et al., 2020).

#### **4. Aplicação e uso de FMA**

Inúmeras são as possibilidades de utilização dos bioinsumos, como as bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV), os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e os bioestimulantes, como substâncias húmicas (SH). Os bioinsumos apresentam propriedades específicas, podendo agir de forma isolada e, ou, associadas, apresentando potencial de incorporar nutrientes no

sistema solo-planta e promover crescimento vegetal (CANELLAS et al., 2015; BERRUTI et al., 2016).

Assim, diminuem a dependência externa por insumos, com reflexos na redução dos custos de produção dos sistemas produtivos. As BPCV, inseridas nos sistemas produtivos por meio da inoculação nas sementes ou aplicação via foliar das bactérias diazotróficas, vem apresentando excelentes resultados na agricultura (VALENTIM, 2018; OLIVEIRA, 2020).

O interesse na utilização de microrganismos na agricultura tem aumentado significativamente devido a uma maior conscientização sobre a preservação do meio ambiente, com a busca de alternativas para a redução do uso de insumos químicos. As micorrizas exercem papel significativo para a funcionalidade e manutenção dos ecossistemas naturais e manejados, auxiliam no desenvolvimento das plantas e contribuem para a estruturação de comunidades vegetais (BERUDE et al., 2015).

Pesquisas comprovam a ocorrência natural de FMA em diferentes biomas brasileiros, pois o conhecimento da diversidade de FMA nativos pode servir de estratégia para diminuir a expansão dos impactos causados pela exploração do solo e, conseqüentemente, garantir uma maior produtividade das culturas (SOUZA, 2018).

Para utilização na agricultura, qualquer isolado de FMA deve ter alta capacidade de colonização para ser capaz de competir com os FMA nativos, altamente competitivos, se estabelecendo e persistindo no campo. A capacidade de colonização dos FMA, além do genótipo do fungo, depende também das características do solo, como pH, conteúdo de nutrientes, temperatura, bactérias e pesticidas presentes, que podem influenciar desde a germinação dos esporos até a formação de apressório<sup>12</sup> e crescimento intra radicular (GIOVANNINI et al., 2020).

Os FMA desempenham um importante papel na manutenção e na dinâmica dos ecossistemas vegetais, principalmente nos trópicos, onde os solos são bastante intemperizados. O efeito mais relevante está na estratégia

---

<sup>12</sup> São definidos como estruturas empregadas pelos patógenos fúngicos para forçar e atacar à superfície da planta na preparação para a infecção. Frequentemente, os apressórios são estruturas diferenciadas nas pontas dos tubos germinativos.

nutricional das plantas hospedeiras, principalmente em relação aos nutrientes de baixa mobilidade na solução do solo (MERGULHÃO et al., 2014).

Os FMA ampliam a área de exploração do sistema radicular das plantas, proporcionando maior resistência a fatores de natureza biótica e abiótica, por exemplo, estresse hídrico, promovendo maior crescimento desses vegetais (FOLLI-PEREIRA et al., 2012). Atuam como estratégia de sobrevivência, pois plantas colonizadas apresentam melhor resistência à seca que as não colonizadas por FMA (YANG et al., 2016).

As relações hídricas em plantas micorrizadas e os processos fisiológicos envolvidos na maior tolerância das plantas micorrizadas à limitação de água são bem compreendidos; no entanto, há muitos aspectos desconhecidos que devem ser esclarecidos. A base molecular da tolerância ao estresse hídrico em plantas micorrizadas, por exemplo, continua longe de ser compreendida (FOLLI-PEREIRA et al., 2012).

Machineski et al. (2009) em trabalho com objetivo de avaliar o efeito da inoculação de fungos micorrízicos arbusculares no crescimento de mudas de peroba rosa (*Aspidosperma polyneuron*), relataram que, de modo geral, as plantas inoculadas com os FMA apresentaram maior desenvolvimento e acúmulo de nutrientes. Dentre as espécies inoculadas, *G. margarita* e *G. clarum* podem ser considerados com maior potencial para serem usados na formação de mudas de peroba rosa.

Com o objetivo de analisar a ocorrência e diversidade de Fungos Micorrízicos Arbusculares, em duas diferentes tipologias florestais do estado de Pernambuco, e comparar com a ocorrência e diversidade desses fungos existentes em plantios de *Eucalyptus spp.*, Souza (2018), coletou 80 amostras de solo rizosférico. Sendo 20 amostras em plantio de *Eucalyptus spp.* e 20 em mata nativa da estação Experimental de Itapirema, do IPA em Goiana, 20 amostras de solo no plantio de *Eucalyptus spp.* da Usina Petribu, e 20 no fragmento de mata nativa da EECAC do município de Carpina. A extração de esporos dos FMA foi feita seguindo a metodologia proposta por Gerdemann; Nicolson (1963), apud Jenkins (1964), com posterior centrifugação e suspensão em sacarose a 50%.

Souza (2018) encontrou maior índice de diversidade em áreas de mata nativa e um maior índice de dominância nas áreas de plantios de eucalipto,

justificando que a diversidade de espécies vegetais em um local contribui para a riqueza e diversidade de FMA na rizosfera. Ele avaliou que potencial de inóculo não está diretamente relacionado à fertilidade do solo e a grandes quantidades de fósforo, pois em solos que apresentaram melhor fertilidade e maiores quantidades de fósforo apresentaram baixa densidade de esporos de FMA.

Considerando que a racionalização e alternativas mais eficientes no uso de fertilizantes estão associadas à sustentabilidade agrícola, mais o benefício da associação micorrízica em uma maior absorção de fósforo (P) pela planta em situações de baixo suprimento, Moreira et al. (2019) estudaram a produção de mudas de café arábica usando solo não esterilizado como substrato, inoculando FMA.

O experimento foi delineado em quatro blocos e arranjado em esquema fatorial  $4 \times 4$  e quatro repetições. Mudas da cultivar Catuaí Vermelho IAC 99 foram inoculadas com *Rhizophagus clarus* (RJN102A), *Claroideoglossum etunicatum* (RJN101A) e *Dentiscutata heterogama* (PNB102A) e não inoculadas (controle).

As sementes de café foram germinadas em areia lavada e transplantadas ao atingirem o estágio de “palito de fósforo”. As mudas receberam adição de inoculante dos respectivos fungos suficientes para fornecer 100 esporos por muda no transplante para solo, fertilizando com fósforo ( $P_2O_5$ ) em diversas doses mais testemunha sem fósforo.

Foram observadas a dependência micorrízica para cafeeiros com 150 DAP, cultivados em solo sem aplicação de fertilizante fosfatado, embora essa dependência tenha diminuído a partir da dose de  $0,74 \text{ g kg}^{-1}$ . Os fungos *Rhizophagus clarus* e *Claroideoglossum etunicatum* promoveram maior crescimento dos cafeeiros em relação às plantas não inoculadas.

## 5. Considerações finais

Inicialmente, os bioinsumos eram utilizados principalmente na agricultura orgânica ou agroecológica, sendo fundamentais para o manejo desses sistemas produtivos. Com a democratização do conhecimento e a demonstração dos benéficos, eles veem desempenhando papel cada vez mais importante na agricultura convencional, como alternativa ou complemento de insumos químicos, podendo ser utilizados de diferentes formas em várias culturas.

A utilização de bioinsumos na agricultura é uma tecnologia que tem muito a oferecer, uma vez que abrange várias categorias, podendo ser utilizadas em diferentes culturas e sistemas de manejo do solo, buscando alcançar o máximo potencial produtivo. Entre os benefícios dos bioinsumos está a diminuição da dependência externa por insumos químicos, promovendo uma maior lucratividade para o produtor, diminuindo a pressão sobre os recursos naturais e proporcionando segurança alimentar para a sociedade.

Os resultados apresentados no presente trabalho demonstraram que independente do manejo do solo, da cultura, forma de aplicação, dose de adubação, se há ou não associação entre bioinsumos, a utilização dessa tecnologia é positiva. Diante das dificuldades inerentes às mudanças climáticas e supervalorização dos fertilizantes minerais, a tecnologia dos bioinsumos se apresenta como de grande importância e notoriedade para o futuro da agricultura, não só brasileira, mas mundial, principalmente se tratando das incertezas futuras, onde que, cada vez mais será necessário utilizar menos recursos e produzir mais para alimentar uma população cada vez maior.

Os bioinsumos, como os FMA, apresentam propriedades específicas, podendo agir de forma isolada e, ou, associadas, apresentando potencial de incorporar nutrientes no sistema solo-planta e promover crescimento vegetal, diminuindo a dependência externa por insumos, com reflexos na redução dos custos de produção dos sistemas produtivos.

Os microrganismos do solo desempenham um papel essencial na produtividade de agroecossistemas e no funcionamento dos ecossistemas naturais, incrementam o estabelecimento e a nutrição vegetal na maioria dos ecossistemas terrestres. Os FMA constituem recurso biológico que pode ser usado na manutenção da diversidade e produtividade das plantas, especialmente em solos tropicais deficientes em P.

Possuem também funções relacionadas à estruturação do solo, aumento da tolerância a estresses abióticos e resistência a doenças em plantas. Um sistema agrícola equilibrado, baseado na manutenção da microbiota nativa do solo, deve ser priorizado, em detrimento de sistemas produtivos baseados na alta aplicação de recursos externos, tendo em vista a sustentabilidade econômica e ambiental do agroecossistema.

Trabalhos que validam a eficácia dos bioinsumos devem ser estimulados. Os resultados dessas pesquisas podem promover não só uma agricultura de baixo custo e mínimo impacto ambiental, mas também comprovar o potencial biotecnológico dessas bactérias. Conhecer as condições de manejo que maximizem os processos que elas realizam é um desafio para a pesquisa atual.

## 6. Referências

BACK, M. M.; ALTMANN, T.; DE SOUZA, P. V. D. Influência de fungos micorrízicos arbusculares no desenvolvimento vegetativo de porta-enxertos de citros. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, p. 407-412, 2016.

BAGO, B. Putative sites for nutrient uptake in arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant Soil**, 226:263- 274, 2000.

BARBOSA, M. V. **Utilização de rizóbios e fungo micorrízico arbuscular na implantação de um sistema agroflorestal no semiárido pernambucano**. 2013. 77 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Serra Talhada - PE, 2013.

BARROS, N. de; FERREIRA de NOVAIS, R.; TEIXEIRA, J.; FERNANDES FILHO, E. NUTRICALC 2.0-Sistema para cálculo del balance nutricional y recomendación de fertilizantes para el cultivo de eucalipto. **Bosque**, v. 16, n. 1, p. 129-131, 1995.

BARTO, E. Kathryn et al. Contributions of biotic and abiotic factors to soil aggregation across a land use gradient. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, n. 12, p. 2316-2324, 2010.

BERBARA, R. L. L.; SOUZA, F. A.; FONSECA, H. M. A. C. III-Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. **Nutrição mineral de plantas**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, p. 74-85, 2006.

BERRUTI, A.; LUMINI, E.; BALESTRINI, R.; BIANCIOTTO, V. Arbuscular mycorrhizal fungi as natural biofertilizers: let's benefit from past successes. **Frontiers in microbiology**, v. 6, p. 1559, 2016.

BERTOLAZI, A. A.; CANTON; G. C.; AZEVEDO, I. G.; CRUZ, Z. M. A.; SOARES, D. N. E. S.; CONCEIÇÃO, J. M.; SANTOS, W. O.; RAMOS, A. C. O papel das ectomicorrizas na biorremediação de metais pesados no solo. **Natureza online, Santa Teresa**, v. 8, n. 1, p. 24-31, 2010.

BERUDE, M. C.; ALMEIDA, D. S. de; RIVA, M. M.; CABANÊZ, P. A.; AMARAL, A. A. do. Micorrizas e sua importância agroecológica. **Enciclopédia biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.11, n. 22, p. 132, 2015.

BRADY, N. C. Solos orgânicos (Histosols). Sua natureza, propriedades e utilização. **Natureza e propriedades dos solos**. 7 ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1989.

BRAHMAPRAKASH, G. P.; SAHU, Pramod Kumar. Biofertilizers for sustainability. **Journal of the Indian Institute of Science**, v. 92, n. 1, p. 37-62, 2012.

BRANDINI, C. B.; SANTOS, D. G. dos. Transformações do carbono no solo. In: CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do solo**. 2 ed. Piracicaba: ESALQ, 2016, p. 83-96.

BRASIL. **Decreto Nº 10.375**, de 26 de maio de 2020. Institui o Programa Nacional de Bioinsumos e o Conselho Estratégico do Programa Nacional de Bioinsumos. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.375-de-26-de-maio-de-2020-258706480> . Acesso em: 13 set. 2020.

BÜCKING, H.; MENSAH, J. A.; FELLBAUM, C. R. Common mycorrhizal networks and their effect on the bargaining power of the fungal partner in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Communicative & integrative biology**, v. 9, n. 1, p. e1107684, 2016.

CANELLAS, L. P. ; OLIVARES, S. L.; AGUIAR, N. O.; JONES, D. L.; NEBBIOSO, A.; MAZZEI, P.; PICCOLO, A. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. **Scientia horticultrae**, v. 196, p. 15-27, 2015.

CANTON, G. C. **Efeito do manganês sobre a ecofisiologia e bioquímica de ectomicorrizas**. 2012. Tese de Doutorado. Brasil.

CAVALCANTE, U. M. T.; GOTO, B. T.; MAIA, L. C. Aspectos da simbiose micorrízica arbuscular. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, v. 5, p. 180-208, 2009.

CAVALCANTI DO ESPÍRITO SANTO MERGULHÃO, A. Aspectos ecológicos e moleculares de fungos micorrízicos arbusculares. 2006.

COLODETE, C. M.; DOBBSS, L. B.; RAMOS, A. C. Aplicação das micorrizas arbusculares na recuperação de áreas impactadas. **Natureza on line**, v. 12, n. 1, p. 31-37, 2014.

CRUZ, E.; SOBREIRA, A. C.; BARROS, D. L. de; GOMIDE, P. H. O. Doses de fósforo e fungos micorrízicos arbusculares no crescimento e produção do feijão-caupi em Roraim. **Boletim do Museu Integrado de Roraima (Online)**, v. 11, n. 01, p. 21-28, 2017.

DRIVER, J. D.; HOLBEN, W. E.; RILLIG, M. C. Characterization of glomalin as a hyphal wall component of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 37, n. 1, p. 101-106, 2005.

FOLLI-PEREIRA, M. da S.; MEIRA-HADDAD, L. A.; BAZZOLLI, D. M. S.; KASUYA, M. C. M. Micorriza arbuscular e a tolerância das plantas ao estresse. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1663-1679, 2012.

GAI, J.; GAO, W.; LIU, L.; CHEN, Q.; FENG, G.; ZHANG, J.; CHRISTIE, P.; LI, X. Infectivity and community composition of arbuscular mycorrhizal fungi from different soil depths in intensively managed agricultural ecosystems. **Journal of Soils and Sediments**, v. 15, n. 5, p. 1200-1211, 2015.

GIOVANNINI, L.; PALLA, M.; AGNOLUCCI, M.; AVIO, L.; SBRANA, C.; TURRINI, A.; GIONANNETTI, M. Arbuscular mycorrhizal fungi and associated microbiota as plant biostimulants: research strategies for the selection of the best performing inocula. **Agronomy**, v. 10, n. 1, p. 106, 2020.

GOTO, B. T.; JOBIM, K. **Laboratório de Biologia de Micorrizas**. UFRN. Disponível em: Laboratório de Biologia de Micorrizas. Acesso em: 07 jun. 2021. HOFFMANN, L. V.; LUCENA, V. S. Para entender Micorrizas Arbusculares. **Embrapa Algodão-Documentos (INFOTECA-E)**, 2006.

HOSSAIN, M. A.; HASANUZZAMAN, M.; FUJITA, M. Up-regulation of antioxidant and glyoxalase systems by exogenous glycinebetaine and proline in mung bean confer tolerance to cadmium stress. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 16, n. 3, p. 259-272, 2010.

HOSSAIN, M. A.; PIYATIDA, P.; SILVA, J. A. T. da; FUJITA, M. Molecular mechanism of heavy metal toxicity and tolerance in plants: central role of glutathione in detoxification of reactive oxygen species and methylglyoxal and in heavy metal chelation. **Journal of Botany online**, v. 37, n. 1, 2012.

JENKINS, W. R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant disease reporter**, v. 48, n. 9, 1964.

LANFRANCO, L.; BONFANTE, P.; GENRE, A. A Interação Mutualista entre Plantas e Fungos de Micorrizas Arbusculares. **Espectro de microbiologia**, v. 4, n. 6, 2016.

LATEF, A. A. H. A. et al. Arbuscular mycorrhizal symbiosis and abiotic stress in plants: a review. **Journal of plant biology**, v. 59, n. 5, p. 407-426, 2016.

MACHINESKI, O.; BALOTAI, E. L.; COLOZZI FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; PINTO DE SOUZA, J. R. Crescimento de mudas de peroba rosa em resposta à inoculação com fungos micorrízicos arbusculares. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 39, n. 2, p. 567-570, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/rtvmtfJZBr3CwzC8QxhLD3x/?form=at=pdf&lang=pt>. Acesso em: 23 set. 2020.

MARTIN, B. D.; SCHWAB, E. Current usage of symbiosis and associated terminology. **International Journal of Biology**, v. 5, n. 1, p. 32, 2013.

MERGULHÃO, A. C. do E. S.; SILVA, M. V. da; LIRA, M. C. C. P. de; FIQUEIREDO, M. do V. B.; SILVA, M. L. R. B. da; MAIA, L. C. Caracterização

morfológica e molecular de fungos micorrízicos arbusculares isolados de áreas de mineração de gesso, Araripina, PE, Brasil. **Hoehnea**, v. 41, n. 3, p. 393-400, 2014.

MIRANDA, P. B. **Influência de fungos micorrízicos arbusculares como promotores de crescimento de porta-enxertos de citros**. Dissertação (Mestrado em Agroecologia e Desenvolvimento Rural), Programa de Pós-Graduação e Desenvolvimento Rural, Araras, CCA/UFSCar, 2017.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Micorrizas. In: **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2 ed. Lavras: Editora UFLA, 2006. p. 543-662.

MOREIRA, S. D.; FRANÇA, A. C.; GRAZZIOTTI, P. H.; LEAL, F. D. S.; SILVA, E. de B. Fungos micorrízicos arbusculares e doses de fósforo no crescimento do cafeeiro em solo não esterilizado. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 1, p. 72-80, 2019.

NICHOLS, K. A.; WRIGHT, S. F. Comparison of glomalin and humic acid in eight native US soils. **Soil Science**, v. 170, n. 12, p. 985-997, 2005.

NOBRE, C. P. et al. Agregação, glomalina e carbono orgânico na chapada do Araripe, Ceará, Brasil. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 1, p. 138-147, 2015.

NOGUEIRA, M. A.; SOARES, C. R. F. S. Micorrizas arbusculares e elementos-traço. **Siqueira JO, Souza FA, Cardoso EJB, Tsai SM, organizadores. Micorrizas**, v. 30, p. 475-501, 2010.

OEHL, F.; SIEVERDING, E.; PALENZUELA, J. ; INEICHEN, K.; SILVA, G. A. da. Advances in Glomeromycota taxonomy and classification. **IMA fungus**, v. 2, n. 2, p. 191-199, 2011.

OLIVEIRA, D. M. **Potencial de insumos biológicos no desenvolvimento de forrageiras**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Federal do Espírito Santo – Campus de Alegre, Alegre, ES. 2020.

PAIM, L. R. **Atributos físicos de um latossolo vermelho distroférico cultivado com soja e milho tratados com estimulante à micorrização e fósforo**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2016.

PRATES JÚNIOR, P. **Plant soil feedback e inoculação de fungos micorrízicos em mudas de e braúna** [dissertação]. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa. 2018.

PRATES JÚNIOR, P.; MOREIRA, B. C.; DA SILVA, M. DE C. S.; DIOGO, N. V.; RODRIGUES DA LUZ, J. M.; JORDÃO, T. C.; PAIVA, H. N.; KASUYA, M. C. M. Mycorrhizal inoculation and phosphorus fertilization show contrasts on native species of the Brazilian Atlantic Forest and Cerrado. **Rev. Bras. Ciênc. Solo** n. 45, 2021. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20210013>.

REDECKER, D.; KODNER, R.; GRAHAM, L. E. Glomalean fungi from the Ordovician. **Science**, v. 289, n. 5486, p. 1920-1921, 2000.

REINHARDT, D. Programming good relations—development of the arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 10, n. 1, p. 98-105, 2007.

RILLIG, M. C.; AGUILAR-TRIGUEROS, C. A.; BERGMANN J.; VERBRUGGEN E.; VERESOGLOU S. D.; LEHMANN A.; Plant root and mycorrhizal fungal traits for understanding soil aggregation. **New Phytol.** v. 205, p. 385-388, 2015.

RILLIG, M. C.; RAMSEY, P. W.; MORRIS, S.; PAUL, E. A. Glomalina arbuscular-mycorrhizal fungal soil protein, responds to land-use change. **Plant and Soil**, v, 253, n. 2, p. 293-299, 2003.

ROCHA, L. P. M.; MOREIRA, F. W.; OLIVEIRA, C. M.; OLIVEIRA, L. A. Ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares em um plantio de cupuaçu na estrada de Balbina. Amazonas. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.11, n.2, p.78-84, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.002.0009>

RODRIGUES, L. A.; BARROSO, D. G.; FIQUEIREDO, F. A. M. M. Fungos micorrízicos arbusculares no crescimento e na nutrição mineral de mudas de *Tectona grandis* LF. **Ciência Florestal**, v. 28, p. 25-34, 2018.

ROMAGNOLI, E. M.; ANDREOTE, F. D. Rizosfera. In: CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do solo**. 2 ed. Piracicaba: ESALQ, 2016. p. 49-57.

SADAVA, D.; HELLER, H. C.; ORIAN, G. H.; PURVES, W. K.; HILLIS, D. M. **Vida: a ciência da biologia**. Volume II: Evolução, Diversidade e Ecologia. Porto Alegre: Artmed, 2009.

SAGGIN JR, O. J.; SIQUEIRA, J. O.; SIQUEIRA, J. O. Micorrizas arbusculares em cafeeiro. In: SIQUEIRA, J. O. **Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas**. Lavras: UFLA, DCS, 1996.

SAGGIN JÚNIOR, O. J.; DA SILVA, E. M. R.. Micorriza arbuscular—Papel, funcionamento e aplicação da simbiose. **Miolo Biota**, v. 12, n. 32, p. 101-150, 2006.

SAMPAIO, Á. M. do N. C. **O papel das micorrizas no modo de produção biológico da alface (*Lactuca sativa* L.)**. 2012. Dissertação de Mestrado.

SCHÜßLER, A.; SCHWARZOTT, D.; WALKER, C. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. **Mycological research**, v. 105, n. 12, p. 1413-1421, 2001.

SILVA, C. F. da; SIMÕES-ARAÚJO, J. L.; SILVA, E. M. R. da; PEREIRA, M. G.; FREITAS, M. S. N.; SAGGIN JÚNIOR, O. J.; MARTINS, M. A. Fungos micorrízicos arbusculares e proteína do solo relacionada à glomalina em área

degradada por extração de argila e revegetada com eucalipto e acácia. **Ciência Florestal**, v. 22, p. 749-761, 2012.

SILVA, R. R. da; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. de S.; CURI, N.; ALOVISI, A. M. T. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1584-1592, 2010.

SILVA, S. da; SIQUEIRA, J. O.; SOARES, C. R. F. S.. Fungos micorrízicos no crescimento e na extração de metais pesados pela braquiária em solo contaminado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1749-1757, 2006.

SILVEIRA, A. P. D. Micorrizas. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. **Microbiologia do Solo**, 1992. Cap. 19, 282 p.

SMITH, S. E.; READ, D. Mycorrhizal Symbiosis. **Academic Press**, 3º Edição, p. 80, 2008.

SMITH, S. E.; EVELINA, F.; SUZANNE, P.; SMITH, A. F. Plant performance in stressful environments: interpreting new and established knowledge of the roles of arbuscular mycorrhizas. **Plant and soil**, v. 326, n. 1, p. 3-20, 2010.

SOUZA, F. A.; STURMER, S. L.; CARRENHO, R.; TRUFEM, S. F. B. Classificação e taxonomia de fungos micorrízicos arbusculares e sua diversidade e ocorrência no Brasil. In: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. (Eds.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: Ed da UFLA, 2010. p. 15-73.

SOUZA, J. de O. **Ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em diferentes tipologias florestais do Estado de Pernambuco**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Recife, UFRPE, 2018.

SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em recuperação de áreas degradadas. Vol. II**. Canoas: Mérida Publishers Ltda. 2021. 384 p.

VALADARES, R. B. da S.; MESCOLOTTI, D. L. C.; CARDOSO, E. J. B. N. Micorrizas. In: CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do solo**. 2 ed. Piracicaba: ESALQ, 2016, p. 181-194.

VALENTIM, S. B. **Insumos biológicos no crescimento de capim marandu e estilosantes cv. campo grande**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) Universidade Federal do Espírito Santo – Campus de Alegre, Alegre, ES. 2018.

VIDAL, M. C.; SALDANHA, R.; VERISSIMO, M. A. A.. Bioinsumos: o programa nacional e a sua relação com a produção sustentável. **Sanidade vegetal: uma estratégia global para eliminar a fome, reduzir a pobreza, proteger o meio ambiente e estimular o desenvolvimento econômico sustentável**./Organizadores Diego Medeiros Gindri, Patrícia Almeida Barroso Moreira, Mario Alvaro Aloisio Verissimo.–1. ed. Florianópolis: CIDASC, p. 382-409, 2020.

VILELA, L. A. F.; SAGGIN JÚNIOR, O. J.; PAULINO, H. B.; SIQUEIRA, J. A.; SANTOS, V. L. da S.; CARNEIRO, M. A. C. Arbuscular mycorrhizal fungus in microbial activity and aggregation of a Cerrado Oxisol in crop sequence. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 1, p. 34-42, 2014.

WRIGHT, S. J.; TURNER, B. L.; YAVITT, J. B.; HARMS, K. E.; KASPARI, M.; EDMUND, V. J.; TANNER, E. V. J.; BUJAN, J.; GRIFFIN, E. A.; MAYOR, JR; PASQUINI, S. C.; SHELDRAKE, M.; GARCIA, M. N. Plant responses to fertilization experiments in lowland, species-rich, tropical forests. **Ecology**. n. 99, p. 1129-1138, 2018. <https://doi.org/10.1002/ecy.2193>

YANG, Y.; LIANG, Y.; HAN, X.; CHIU, T-Y; GHOSH, A.; CHEN, H. ; TANG, M. The roles of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in phytoremediation and tree-herb interactions in Pb contaminated soil. **Scientific Reports**, v. 6, n. 1, p. 1-14, 2016.

## **Autores**

Lucas Henrique Cortat, Danillo Sartório Rangel, José Carlos Lambert, João Paulo Andrade Gomes, Maria Amélia Bonfante da Silva, João Sávio Monção Figueiredo, Otávio Pereira Araujo, Maurício Novaes Souza\*

Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29500- 000, Alegre-ES, Brasil.

\* Autor para correspondência: [mauricios.novaes@ifes.edu.br](mailto:mauricios.novaes@ifes.edu.br)